

稳定核 ^{84}Sr 的高自旋态研究*

韩广兵 温书贤 刘祥安 吴晓光 李广生
袁观俊 翁培焜 杨春祥

(中国原子能科学研究院核物理所 北京 102413)

马英君 陆景斌

(吉林大学物理系 长春 130023)

摘要 利用 75MeV 的 ^{18}O 束流, 通过 $^{70}\text{Zn}(^{18}\text{O}, 4n)$ 反应布居了 ^{84}Sr 核的高自旋态, 测量了激发函数, γ - γ 符合及 DCO 比值和 γ 射线强度, 观察到了 12 条新能级, 近 30 条新 γ 跃迁. 建立了新的能级纲图, 与 D. C. M. (deformed configuration-mixing shell model) 理论计算结果符合得很好, 发现其负宇称带有强烈的振动性.

关键词 高自旋态 γ - γ 符合 能级纲图

1 引言

在质子数 $Z = 40$ 附近, 中子数 $N = 45$ 和 46 的原子核是变形核和球形核之间的过渡性核. 在这些核中存在集体性带, 同时也有单粒子性结构, 如 Sr, Zr 和 Mo 的同位素核等. ^{84}Sr 的质子数为 38, 但有可能处于 $1g_{9/2}$, $2p_{1/2}$, $1f_{5/2}$ 的 4 个中子空穴, 因此其结构会比较复杂. A. Dewald^[1], A. I. Kucharska^[2], C. J. Lister^[3] 和 S. Chattopadhyay^[4] 等先后对 ^{84}Sr 的结构进行了研究, 对正宇称带进行了详细的讨论, 指出了其集体性结构. 但他们对负宇称的结构没能向对正宇称那样了解的清楚, 为了弥补这一不足, 同时也为了研究 $N = 45$ 和 46 的核结构变化的规律, 我们做了此项研究.

2 实验

^{84}Sr 的高自旋态是通过 $^{70}\text{Zn}(^{18}\text{O}, 4n)$ 反应布居的, 所用靶为滚压而成厚约 $400\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的自支撑靶, 其 ^{70}Zn 的同位素纯度为 99.3%. 在实验中将两层靶叠起来用以增加反应产

1998-05-05 收稿

* 国家自然科学基金(19635030)和核工业基金资助

额。先用能量分别为 67, 70, 75, 80, 87MeV 的 ^{18}O 束流做了激发函数。然后在 ^{18}O 束流的强度为 8—9nA, 束流能量约为 75MeV, 用 8 台 HPGe-BGO 谱仪及一台平面型高纯锗探测器测量了 γ - γ 符合, 各探测器分别放置在与束流方向成 $35^\circ, 36^\circ, 39^\circ, 43^\circ, 81^\circ, 90^\circ, 102^\circ, 143^\circ$ 及 159° 的位置, 以便提取 DCO 数据。符合事件以事件-事件方式记录, 共积累了大约 180×10^6 个两重符合事件。

3 建立 ^{84}Sr 的能级纲图

通过反演事件带, 建立了 4096×4096 的两维矩阵。按照已有的能级纲图, 我们对跃迁最强的 793keV γ 跃迁开窗, 观察到了 S. Chattopadhyay 等给出的所有 γ 跃迁, 并由相关的跃迁互相开窗, 证实了 S. Chattopadhyay 等所给出的级联关系, 本文对这部分不做详细论述。在 793keV γ 跃迁开窗谱中, 还发现了较强的 706, 759, 988keV 等 γ 跃迁, 而这些 γ 跃迁在负宇称带中 1001keV 的 γ 跃迁开窗谱中清晰可见, 如图 1(a)。为了确定这些 γ 跃迁属于 ^{84}Sr 的负宇称带, 我们对 988keV 的能量开窗, 清楚地看到了已确认属于 ^{84}Sr 的 510, 793, 974, 1001keV 等 γ 跃迁, 但没观察到其它的已确认的正宇称带的 γ 跃迁, 此外也观察到了 759, 1041keV 等较强的 γ 跃迁, 在以 510keV 开窗谱中还看到 759, 988, 1041keV 等较强的 γ 跃迁及 208, 417keV 的 γ 跃迁, 由此可知 759, 988, 1041keV 属于 ^{84}Sr 并确定了与负宇称带 510keV γ 跃迁的级联关系。在 759 和 719keV 的开窗谱中, 发现了较强的 780keV 的 γ 跃迁, 而 719 与 780 之和等于 510 与 988 之和, 由此定出 988 与 759 的级联顺序。同时又在 759keV 窗中看到了 624 和 417keV 的 γ 跃迁, 也证明了它们的级联顺序如图 2 所示。由 719keV γ 跃迁开窗谱中, 看到了强的 162keV 的 γ 跃迁, 开 162 窗证明了它与 706, 719, 1088keV 有级联。至此, 在 793keV γ 跃迁开窗谱中, 我们看到的强 γ 跃迁的级联关系几乎都已确定。这里特别要提出的是 706keV 的 γ 跃迁。在正宇称带的 524keV 和负宇称带的 1001keV 开窗谱中, 都能看到强的 706keV γ 跃迁, 而对 624keV 开窗也能看到 706keV γ 跃迁且其强度比 162, 1088keV 等 γ 射线强得多, 这预示着在两个不同的级联串中存在 706keV 的 γ 跃迁, 又通过对 414, 432keV 分别开窗, 比较它们的强度及符合关系确定了 706keV 的位置以及其它 γ 跃迁的位置, 如 1138, 1226, 1422, 1446keV 等, 如图 1(b) 所示。此外在 808keV 开窗谱中还看到强的 964keV 的 γ 跃迁及建立在其上的一串级联跃迁, 如图 1(c) 所示。

正宇称带 524keV γ 跃迁开窗谱中, 我们不仅看到了 1202, 1205, 1418keV 的 γ 跃迁, 还看到 1414, 1442keV 的 γ 跃迁, 而且 1414keV 的强度比 1442keV 的强, 这样的强度关系同样出现在以 1040 和 1116keV 的开窗谱中, 证明了它们之间有级联。图 1(d) 给出了 1414keV γ 跃迁开窗谱中的高能级联部分。在 1086keV 开窗谱中, 除了看到了 C. J. Lister^[4] 等给出的 325, 1085, 1094, 1274keV 等的 γ 跃迁外, 还观察到了 1450 和 1752 及 2017keV 的 γ 跃迁, 如图 1(e) 所示。在 1268, 1418keV 的开窗谱中, 同样观察到了 1450 和 1752keV 的 γ 跃迁, 因此确立了它们的级联顺序。至此, 我们已发现了 ^{84}Sr 的 12 条新能级, 近 30 条新的 γ 跃迁。由于 1752 和 2017keV 的 γ 跃迁强度较弱, 在本实验的纲图中用虚线表示。

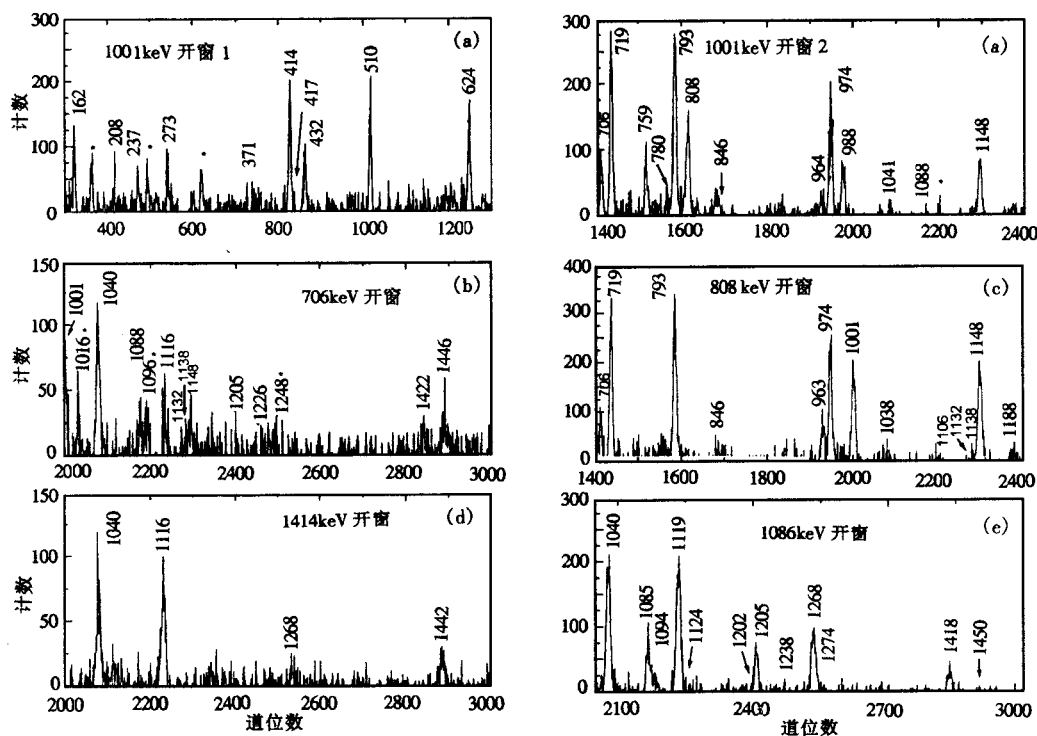


图1 以1001, 808, 706, 1088及1414keV开窗的部分谱图(能量单位为keV)

* 不属于⁸⁴Sr核.表1 本实验新发现属于⁸⁴Sr的能级和 γ 跃迁以及它们的DCO比值 (能量的单位为keV)

E_x	E_γ	I_i	I_f	DCO	E_x	E_γ	I_i	I_f	DCO
5861	1414	12 ⁺	10 ⁺		3278	510	6 ⁻	5 ⁻	0.36 ^{d)}
7303	1442	14 ⁺	12 ⁺		5025	759	10 ⁻	8 ⁻	0.95 ^{e)}
4533	1202	10 ⁺	8 ⁺	0.91 ^{e)}	6067	1041	12 ⁻	10 ⁻	1.07 ^{e)}
7823	1085	15 ⁺	14 ⁺	0.69 ^{e)}	6913	846	14 ⁻	12 ⁻	0.43 ^{b)}
9424	183	16 ⁺	15 ⁺	0.64	7619	706	15 ⁻	14 ⁻	0.92 ^{b)}
9097	1274 ^[3]	17 ⁺	15 ⁺	0.76 ^{e)}	8139	1226	16 ⁻	14 ⁻	0.10 ^{b)}
9097	1094	17 ⁺	16 ⁺	0.34 ^{e)}	7619	1138	15 ⁻	13 ⁻	0.33 ^{b)}
9424	325	18 ⁺	17 ⁺		7512	1030	14 ⁻	13 ⁻	0.94 ^{b)}
10547	1123	19 ⁺	18 ⁺	0.48 ^{e)}	8752	1240	16 ⁻	14 ⁻	0.37 ^{b)}
10547	1450	19 ⁺	17 ⁺	1.00 ^{e)}	8752	1132	16 ⁻	15 ⁻	1.08 ^{b)}
11062	514	20 ⁺	19 ⁺		9065	1446	17 ⁻	15 ⁻	0.56 ^{d)}
12299	1752	21 ⁺	19 ⁺	1.00 ^{e)}	10507	1442	19 ⁻	17 ⁻	0.69 ^{d)}
12299	1238	21 ⁺	20 ⁺	0.58 ^{e)}	7512	1105	14 ⁻	13 ⁻	0.82 ^{f)}
12920	1858	22 ⁺	20 ⁺	1.05 ^{e,h)}	4737	1088	9 ⁻	7 ⁻	0.75 ^{e)}
14937	2017	(24 ⁺)	20 ⁺	1.06 ^{e,h)}	3649	162	7 ⁻	7 ⁻	0.88 ^{e)}
3487	208	7 ⁻	5 ⁻	0.66 ^{f)}	6407	964	13 ⁻	12 ⁻	0.78 ^{f,m)}
4266	780	8 ⁻	7 ⁻		7619	108	15 ⁻	14 ⁻	
5443	417	11 ⁻	10 ⁻		6481	74	13 ⁻	12 ⁻	
4266	988	8 ⁻	6 ⁻	0.85 ^{d)}					

a) 以706keV开窗; b) 以625keV开窗; c) 以719keV开窗; d) 以793keV开窗; e) 以1086keV开窗; f) 以808keV开窗; h) 在未扣本底的谱中求得; m) 据系统规律定出.

表2 ^{84}Sr 的部分 γ 跃迁的相对强度(能量单位为keV)

E_γ	793	974	854	872	988	997	1001	1040	1085
I_γ	100	79.4(2)	24.3(7)	18.6(7)	2.9(4)	1.3(3)	18.3(6)	58.8(9)	16.5(6)
E_γ	1088	1442	1116	1119	1148	1205	719	706	680
I_γ	2.8(3)	0.8(2)	11.0(5)	14.1(5)	5.5(4)	2.1(4)	12.5(6)	9.5(6)	6.2(6)
E_γ	625	524	510	1445	432	414	372	348	272
I_γ	10.6(6)	40.8(8)	10.9(7)	1.4(2)	6.5(6)	14.3(6)	1.5(4)	8.3(6)	2.0(4)
E_γ	86	1268	759	808	964	609			
I_γ	9.8(6)	0.8	2.5(4)	10.1(6)	1.3(4)	3.0(2)			

为了确定这些 γ 跃迁的多极性及能级的自旋和宇称,我们用位置在 38° 附近的探测器(与束流方向成 $35^\circ, 36^\circ, 39^\circ, 43^\circ, 143^\circ$)和 90° 附近的探测器(与束流方向成 $81^\circ, 90^\circ, 102^\circ$)提取了DCO比(Directional correlation from oriented states ratio).在做DCO比时,一般以强E2 γ 跃迁开窗,为了得到较好的统计,在分析中也用了M1(E1) γ 跃迁开窗,如625,706keV.我们的DCO比值与S. Chattopadhyay等的多极性基本是一致的.由于篇幅所限,这里仅将在该实验中新发现 γ 跃迁的DCO比值及相应的能级,自旋和宇称列于表1中.表2给出的是用SPAN98做出的部分 γ 跃迁的相对强度分布,为了减少相近能量干扰,提高精确度,我们先在总符合投影谱中求出974keV的 γ 跃迁相对于793keV γ 跃迁的强度,然后在793keV γ 跃迁的开窗谱中求出其它各 γ 跃迁相对于974keV的强度,最后校回以793keV为标准的相对强度.表中未列出的其余 γ 跃迁的相对强度均小于2%.在此基础上,我们建议了如图2所示的纲图.

4 讨论

通过对Sr偶偶核同位素 $^{78}\text{Sr}^{[5]}$, $^{80}\text{Sr}^{[6]}$, $^{82}\text{Sr}^{[7]}$, $^{86}\text{Sr}^{[8]}$ 能级结构的比较,不难发现 $N=45$ 和 $N=46$ 确实把 $Z=38$ 核的能级结构分成两种不同的性质,即在 $N<45$ 一边有集体性, $N>46$ 一边却有强烈的振动性.具体见参考文献[5—8].由图2可以看出, ^{84}Sr 的基态带与其相邻同中子核一样表现出了一定的集体性.A. Dewald^[1]等指出了正宇称带的2个 8^+ 态为2n顺排和2p顺排,A. I. Kucharska^[2]和S. Chattopadhyay^[4]等通过g因子测量,证实了这种分析.我们也可以看到这两带间的同自旋间的 γ 跃迁,说明了有np相互作用的存在,这与S. Chattopadhyay^[4]等的结果一致.所有这些都与A. Dewald和S. Chattopadhyay用I. B. M.理论计算的结果符合得很好.而当自旋和宇称到达 14^+ 以上时就表现出形变核的旋转能级结构的特点,其间的M1跃迁的能量振动可以理解为旋称(signature)的劈裂,由此可知 ^{84}Sr 的结构不再保持基态的形状,发生了形状改变,产生了旋转.值得一提的是,在 14^+ 以上, ^{84}Sr 的E2跃迁仍占优势,而 ^{88}Mo 和 ^{86}Zr 核却转为强M1跃迁^[4].

在负宇称带中,我们把能级推高到了10487keV.第一个 $5^-, 7^-, 9^-, 11^-$ 带,我们也没能推的很高,仅找到了一个964keV的M1 γ 跃迁馈入 11^- 能级,我们把S. Chattopadhyay^[4]等通过寿命测量确定的414, 432, 624keV的M1 γ 跃迁,看作是第2个 5^- 带的一部

参 考 文 献

- 1 Dewald A, Kaup U, Gast W et al. Phys Rev., 1982, C25:226—239
- 2 Kucharska A I, Billowes J, Lister C J et al. J. Phys., 1989, G15:1039—1051
- 3 Lister C J, Chowdhury P, Vretenar D et al. Nucl Phys., 1993, A557:361c—380c
- 4 Chattopadhyay S, Jain H C, Jhingan M L et al. Phys. Rev., 1994, C50:93—98
- 5 Rudolph D, Baktash C, Gross C J et al. Phys. Rev., 1997, C56:98—117
- 6 Martin M J, Tuli J K. Nucl Data Sheets, 1992, 66:639—641
- 7 Tuli J K, Martin M J. Nucl Data Sheets, 1987, 50:17—19
- 8 Fieds C A, Deboer F W N, Sau J et al. Nucl. Phys., 1983, A398:512—524
- 9 Sahu R. Nucl. Phys., 1989, A501:311—318

Study of the High Spin States of Stable ^{84}Sr *

Han Guangbing Wen Shuxian Liu Xiangang Wu Xiaoguang Li Guangsheng
Yuan Guanjun Weng Peikun Yang Chunxiang

(Department of Nuclear Physics, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Ma Yingjun Lu Jingbin

(Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023)

Abstract High spin states of ^{84}Sr were populated by bombarding ^{70}Zn target with 75MeV ^{18}O beam provided by HI-13 Tandem Accelerator of CIAE. γ - γ coincidences and *DCO* ratios were measured using eight anticompton Ge detectors and one planar. A new level scheme of ^{84}Sr was established in which 12 new energy states and nearly 30 new γ -transitions were identified in present work. Level scheme was compared with its even-even isotopes $^{78,80,82,86}\text{Sr}$. It shows that ^{84}Sr is a transitional nucleus, namely its ground state band exhibits a collective nature. The negative bands were extended to spin of 19^- and the γ -transition energies take on the nature of stagger. The negative band levels are in good agreement with D. C. M. theory calculations.

Key words high spin states, γ - γ coincidence, level scheme

Received 5 May 1998

* Supported by the national Natural Science Foundation of China (19635030) and the China National Nuclear Corporation